

# Neuroeconomics の知見を応用した自律的 Brain Computer Interface System の作成と評価

A Brain-Computer Interface for market stability and analyzing investment behavior.

木下 寛大\*1  
Kanta Kinoshita

宮川 和太\*2  
Miyagawa Kazuhiro

荒山 泰祐\*3  
Taisuke Arayama

酒谷 拓孝\*3  
Sakatani Hiroataka

参沢 匡将\*4  
Misawa Tadanobu

下川 哲矢\*3  
Shimokawa Tetsuya

\*1 楽天株式会社  
Rakuten, Inc.

\*2 一橋大学大学院経済学研究科  
Graduate School of Economics, Hitotsubashi University

\*3 東京理科大学経営学部  
The School of Management, Tokyo University of Science

\*4 富山大学大学院理工学研究部  
Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

Based on the latest advances in devices to measure brain information (e.g. wireless and lighter weight probes), the current study sought to develop a self-managed, intelligent market system using brain information. This brain-computer Interface (BCI) system predicts trader's behavior from brain information for the purpose of providing liquidity to the market and stabilizing it. The artificial market BCI measures the brain response of all of the participants at the time and it successively filters the data in realtime and learns how to model investment behavior.

## 1. はじめに

神経経済学的发展を受け、我々はある Brain Computer Interface (以下では BCI と書く) を開発した ([鈴木 01])。この BCI は、複数人の被験者が同時に市場に参加して投資を行い、その際全員の脳反応を同時計測、リアルタイムにフィルタリングおよび投資行動モデルの学習を逐次行うというものである。この人工市場型 BCI は投資行動研究においてより現実に近い実験プラットフォームを提供すると同時に、市場参加者の投資行動をより適切に予想することで、自律的に市場を安定化できる可能性がある (我々は SmartMarket, あるいは Intelligent Market と呼ぶ)。本研究では、この Smart Market の評価と応用可能性について述べる。

## 2. システム概要

我々の作成した BCI は、大きく、人工市場部、脳機能測定及びリアルタイム処理部、そして投資行動予測モデルの逐次学習部からなる。

人工市場部は、システムのサーバ部分と、クライアント部分に分かれる。クライアント部分は各被験者の前に置かれた PC (各被験者に 1 台の PC) である。クライアント部分では、各被験者の投資意思決定が入力され、その情報がサーバ部分に送られる。入力される情報は、売買 (buy or sell) とその指値 (limit order price) である。サーバ部分では、各被験者の投資意思決定情報を基に、今期の市場価格および取引が決定される。被験者のほか、市場参加者には、予測を基に行動する Computer Trader Agent (CTA) と、まったくランダムに行動する流動性トレーダが含まれる。市場価格の決定および取引はダブルオークション方式で行われる。

脳機能測定及びリアルタイム処理部では、投資意思決定を行っている最中の被験者の脳血中酸化ヘモグロビン濃度変化を、全員同時に測定し、そのデータをリアルタイムでシステ

連絡先: 下川 哲矢, 東京理科大学, 埼玉県久喜市下清久 500, simokawa@ms.kuki.tus.ac.jp

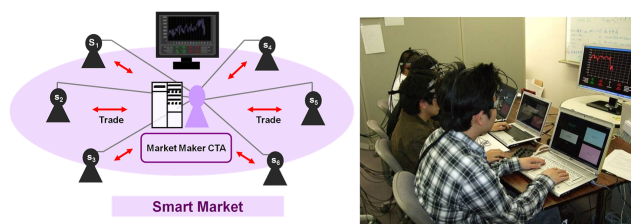


図 1: Smart Market 概念図

ムに転送、さらにノイズを消去するためのフィルタリング処理を逐次行なっている。先行研究を踏まえて ([Shimokawa 09])、測定する脳情報の部位を前頭前野背外側部と内側眼窩部に決定した。

投資行動予測及び逐次学習部では、計算量を抑えリアルタイム処理に対応するために、2 段階に分け学習を行っている (図 2)。すなわち、脳血中ヘモグロビン濃度変化のデータとマーケットインデックスから各被験者の次期投資行動を予測するサポートベクターマシン (SVM) と、その各被験者の予測された投資行動を統合し市場価格を予測するベイジアン 3 層パーセプトロン (TLP) からなる。TLP のパラメータやハイパーパラメータはマルコフ連鎖モンテカルロ法による階層ベイズ推定を行っている。

## 3. 市場安定化

CTA はこの市場予測を用いて、市場参加者と取引を行う。この CTA は、現実の市場におけるマーケット・メイカーのアナロジーになっており、その目的は、マーケット・メイカーと同様に、流動性の欠乏により市場価格がファンダメンタルから乖離する状況 (バブルや暴落) において、市場に流動性を与え市場を安定化させることである。上記の市場予想が正しく行えない場合、CTA は、流動性を供給し市場を安定化させることができなかつたり、たとえできたとしても損失を被る可能性が

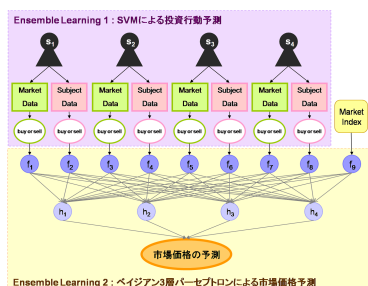


図 2: 2 段階学習

ある。実験の結果、価格変動幅（ボラティリティ）の低下、流動性の供給、損失の回避の観点から評価、良好なパフォーマンスが得られることを確認している（[鈴木 10]）。

#### 4. 意思決定分析

人工市場型 BCI のもう一つの利点は、経済意思決定分析のための現実的なプラットフォームを提供できることにある。とりわけファイナンス理論において重要になる情報や流動性の操作が実験において容易になる。

ここでは、金融市場においてもっとも代表的な意思決定バイアスの一つであるディスポジション効果 (Disposition Effect) に関する流動性を加味した分析例を示す。ディスポジション効果とは、未確定利益については過度に利益を確定させる傾向がある一方、未確定損失は損失の確定を先延ばししてしまうといった意思決定バイアスのことである。これは金融市場において最も頑強に観察される意思決定バイアスの一つで、[Odean 98] はプロフェッショナルトレーダーさえもこの効果に影響されていることを示している。ここでは、ディスポジション効果を示すために [Odean 98] による PGR-PLR 指標を用いる。これは、総利益のうち確定させた利益の割合 (PGR) から総損失のうち確定させた損失の割合 (PLR) を差し引いた額として定義される。もし、PGR-PLR が有意に正ならば、ディスポジション効果が存在していることを意味している。

図 3 は我々の実験から得られたデータを用いて計算された PGR-PLR の値を示す棒グラフである。横軸は前頭前野背外側部の血中ヘモグロビン濃度の大きさによる各被験者のクラス分けに対応する。All はすべての利用可能なデータを利用した場合を表わしており、背外側部の賦活が増加しその増加分が 1 を越える時のデータのみを利用したものは High を、1 以内のものを Middle、背外側部の賦活が減少しその減少分が 1 を越えるものを Low と区別した。この図から、我々の実験においてもディスポジション効果が比較的明確に観測できること、そして前頭前野背外側部の賦活が大きいクラスになればなるほどそれが強調されていることがわかる。我々の実験ではこのようなバイアスは負のショック（価格の下落）時に有意に観測されている。このことから、背外側部の賦活と意思決定バイアスの関係は、ディスポジション効果が生じるとき、人々は市場価格がある値に回帰するという期待感を持っているものとも推測可能であろう。

次に、市場の流動性をコントロールして、流動性欠乏による市場価格のボラティリティや分布の尖度（暴落のような極端な変動）が変化する状況において、前記結果がどのように修正されるかを検討した。人工市場において流動性のコントロールは市場に参加する CTA（ランダムに投資する流動性トレーダー）数を増減させることによって可能となる。図 4 は、流動性の

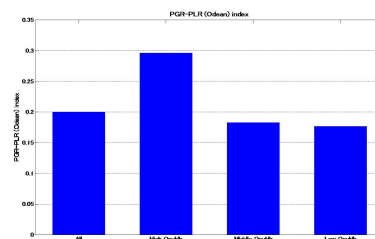


図 3: PGR-PLR 値と脳賦活状況

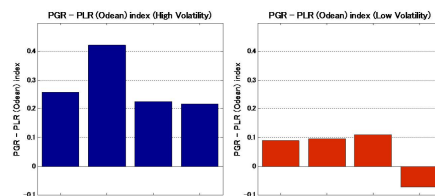


図 4: 流動性操作時の結果

減少により価格ボラティリティが増加した場合（左図）と、流動性の供給によりボラティリティが減少した場合（右図）である。左右の図の比較から、ボラティリティが大きいほど、ディスポジション効果と脳反応との右下りの関係が明確になることが観測できる。

流動性により価格の尖度に変化が生じさせた場合についても、同様の結果が観察できた。すなわち、流動性が欠乏した場合、脳情報と意思決定バイアスの関係はより明確になる。しかしながら、ディスポジション効果そのものの大きさに関しては、ボラティリティが大きなケースでは明らかに観測されたものの、尖度が大きなケースでは十分に観測できなかった。このことは [Taleb 07] の指摘する反応の非線形性が存在していると解釈することも可能である。すなわち、比較的穏やかな変動に対しては、人々は中心回帰的な期待形成を行いその結果ディスポジション効果が生じるが、非常に大きな変動に対しては、逆にショックに対して過剰反応することによりこの効果が消されている可能性がある。

#### 参考文献

[Shimokawa 09] Shimokawa, T., Suzuki, K., Misawa, T., and K., M.: Predictability of Investment Behavior from Brain Information Measured by Functional Near-Infrared Spectroscopy: A Bayesian Neural Network-Model, *Neuroscience*, Vol. 161, No. 2, pp. 347-358 (2009)

[鈴木 10] 木, 木下, 宮川, 塩見, 参沢, 下川: Brain Computer Interface を用いた投資行動分析, *人工知能学会論文誌*, Vol. 15(1), pp. 183-195 (2010.1)

[Odean 98] Odean, T.: Are Investors Reluctant to Realize Their Losses?, *The Journal of Finance*, Vol.53 No.5 pp.1775-1798(1998).

[Taleb 07] Taleb, N.: Black swans and the domains of statistics. *The American Statistician*, Vol.61, No.3 pp.198-200(2007).